



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Instituto de Ciências Humanas
Departamento de Geografia

**APLICAÇÃO DO ALGORITMO PARA DETECÇÃO DE
MUDANÇAS EM DADOS CONTÍNUOS DO SENSOR MODIS NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO XINGU-MT COMO AUXÍLIO
À GESTÃO TERRITORIAL**

Gustavo Henrique Soares Ferreira

Brasília – 2015



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Instituto de Ciências Humanas
Departamento de Geografia

**APLICAÇÃO DO ALGORITMO PARA DETECÇÃO DE
MUDANÇAS EM DADOS CONTÍNUOS DO SENSOR MODIS NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO XINGU-MT COMO AUXÍLIO
À GESTÃO TERRITORIAL**

Gustavo Henrique Soares Ferreira

Monografia apresentada ao curso de Geografia, do Instituto de Ciências Humanas da Universidade de Brasília, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Geografia, sob orientação do Professor Osmar Abílio de Carvalho Júnior.

Brasília – 2015

FOLHA DE APROVAÇÃO

**Aplicação do algoritmo para detecção de mudanças em dados contínuos do sensor MODIS na
bacia hidrográfica do Alto Xingu-MT como auxílio à gestão territorial.**

Banca examinadora, como consta em ata

Prof. Dr. Osmar Abílio de Carvalho Júnior - Orientador
Universidade de Brasília

Prof. Dr. Renato Fontes Guimarães
Universidade de Brasília

Prof. Dr. Roberto Arnaldo Trancoso Gomes
Universidade de Brasília

FICHA CATALOGRÁFICA

Ferreira, Gustavo Henrique Soares.

Aplicação do algoritmo para detecção de mudanças em dados contínuos do sensor MODIS na bacia hidrográfica do Alto Xingu-MT como auxílio à gestão territorial.

Gustavo Henrique Soares Ferreira - Brasília, 2015

Monografia (Graduação em Geografia) - Universidade de Brasília-
UnB, Programa de Graduação em Geografia -, 2015

Orientador: Osmar Abílio de Carvalho Júnior

1.Geografia 2.Sensoriamento Remoto 3. Geoprocessamento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço de maneira geral, aos meus pais Josafá e Simone, por darem a melhor criação que um filho pode receber e por terem me incentivado a sempre seguir meus sonhos e objetivos, a minha amada Natália por confiar seu coração a mim e me fazer enxergar que a vida pode sim ser repleta de momentos felizes e conquistas importantes, e meus amigos de longa data por sempre estarem ao meu lado nestes anos e colaborar com o meu desenvolvimento, de modo a possibilitar que eu estivesse aqui, hoje, concluindo uma importante etapa da minha vida. Meu agradecimento vai, também, para o professor Osmar, por ter me dado à devida orientação e ter me mostrado o quão importante é para o geógrafo saber utilizar corretamente as ferramentas que o circundam para fazer Geografia. A todos, o meu muito obrigado!

RESUMO

Os avanços da geotecnologia, incluindo o Sistema de Informação Geográfica (SIG) e o sensoriamento remoto, auxiliam e simplificam as tarefas que antes eram consideradas de execução complexa, como o estudo da dinâmica espacial em uma área de grande extensão geográfica. O presente trabalho objetiva quantificar a expansão das atividades antrópicas na bacia hidrográfica do Alto Xingu (Estado do Mato Grosso) durante os anos de 2011, 2012 e 2013, mostrando o quanto e para onde se expandiram a fim de se traçar um prognóstico da dinâmica espacial para os próximos anos. Na área de estudo vigora a expansão dos limites da agroindústria frente à preservação da paisagem natural e da cultura dos povos tradicionais, como o Parque Indígena do Xingu, que foi a primeira área a ser homologada pelo governo para a preservação. A análise de séries temporais do sensor MODIS foi realizada através do algoritmo para detecção de mudanças, desenvolvido pelo Laboratório de Sistema de Informações Espaciais (LSIE) da Universidade de Brasília. O método utiliza de técnicas diferenciadas de classificação de imagens e tabulação cruzada. Os resultados obtiveram valores aceitáveis de acurácia, no geral observa-se uma tendência de crescimento da área agrícola. A pesquisa aponta algumas perspectivas de solução e aprimoramento do método.

Palavras-chave: Dinâmica espacial, Sensoriamento remoto, Bacia hidrográfica do Alto Xingu, séries temporais, MODIS, análise multitemporal, agroindústria, preservação.

ABSTRACT

Advances in geotechnology (geographic information system and remote sensing) simplify the tasks that were previously considered to be of complex execution, such as the analysis of spatial dynamics overlarge area. This study aims to quantify the expansion of human activities in the Upper Xingu River basin (Mato Grosso State) for the years 2011, 2012 and 2013, showing its evolution in order to trace a prognosis of spatial dynamics for coming years. In the study area,the agribusiness expansion prevails, contrasting with the conservation of nature and culture of traditional peoples, such as the Xingu Indigenous Park, which was the first area to be approved by the government for preservation. Time series analysis of the MODIS sensor was performed using the algorithm to change detection developed by the Laboratório de Sistema de Informações Espaciais (LSIE) of the University of Brasilia. The method adopts different techniques of image classification and cross tabulation. The results obtained acceptable values of accuracy, notes if general growth trend of agriculture. The survey points out some solution prospects and improving the method.

Keywords: Spatial dynamics, Remote sensing, Upper Xingu river basin, time series, MODIS, multi-temporal analysis, agribusiness, preservation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da bacia do Alto Xingu e seus municípios abrangentes.....	3
Figura 2. Unidades geológicas da bacia	5
Figura 3. Unidades geomorfológicas da bacia e modelo digital do terreno, MDT.....	6
Figura 4. Tipos de solo predominantes na bacia	7
Figura 5. Unidades de vegetação predominantes na bacia.....	8
Figura 6. Distribuição da produção de milho e soja em 2013 no estado do Mato Grosso.....	10
Figura 7. Gráfico de quantidade de grãos (toneladas) produzidos em 2013 nos municípios abrangentes pela bacia.....	12
Figura 8. Fotografia do satélite TERRA, meses antes do seu lançamento. Fonte: < http://modis.gsfc.nasa.gov/ >.....	16
Figura 9. Concepção artística do sensor MODIS. Fonte: < http://science.nasa.gov >.....	17
Figura 10. Cubo multitemporal de imagens MODIS referentes aos anos de 2011, 2012 e 2013.	18
Figura 11. Representação do processo de classificação por mínima distância no espaço bidimensional, onde os círculos coloridos representam as classes pré-definidas, adaptado de Meneses et. al. (2011).	21
Figura 12. Biblioteca espectral com o comportamento dos alvos coletados em suas respectivas cores de classificação.....	22
Figura 13. Resultado do tratamento de ruídos no comportamento espectral.	25
Figura 14. Resultado do tratamento de ruídos na imagem, espectro bruto (A), mediana (B) e MNF (C).....	25
Figura 15. Comparação entre as duas imagens classificadas na geração do coeficiente Kappa.	26
Figura 16. Gráfico de migração de classes com tendência linear para os próximos dois anos para a classe solo exposto	27
Figura 17. Mapa com a distribuição espacial dos pixels que migraram para a classe solo exposto.....	28

LISTA DE TABELAS

Tabela1. Informações do produto MOD09Q1, adaptado de Anderson et. al. (2003).	18
Tabela 2. Qualidade de classificação adaptado de Landis e Koch (1977).....	24

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APC – Análise de Principais Componentes.

EOS - Earth Observing System.

FMR – Fração Mínima de Ruído.

FUNAI - Fundação Nacional do Índio.

GEOTIFF – Geographic Tagged Image File Format.

HDF - Hierarchy Data Format.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

MDT – Modelo Digital de Terreno.

MNF - Minimal Noise Fraction.

MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer.

NDVI - Normalized Difference Vegetation Index.

PIX – Parque Indígena do Xingu.

PRODES - Projeto de Estimativa do Desflorestamento da Amazônia.

SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática.

SIG – Sistema de Informação Geográfica.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E SOCIOECONÔMICA DA ÁREA DE ESTUDO	2
2.1. Bacia do Alto Xingu	2
2.2. Aspectos físicos da paisagem	3
2.3. Economia do estado do Mato Grosso e do Alto Xingu.....	9
2.4. A questão indígena no Alto Xingu: Parque Indígena do Xingu.....	11
3. A ANÁLISE MULTITEMPORAL COMO SUBSÍDIO NO ESTUDO DO COMPORTAMENTO DO MEIO E NA GESTÃO TERRITORIAL	12
3.1. Emprego do Sensoriamento Remoto e dos Sistemas de Informações Geográficas no auxílio à gestão territorial.....	12
3.2. A importância e valor do território	14
3.3. Análise multitemporal de dados contínuos para gestão do território	15
4. METODOLOGIA	16
4.1. Sensor MODIS	16
4.2. Índice de vegetação e tratamento de ruídos	19
4.3. Classificação.....	20
4.4. Detecção de Mudança	22
4.5. Análise de acurácia.....	23
5. RESULTADOS.....	24
5.1. Eficácia no tratamento dos ruídos	24
5.2. Classificação e teste de acurácia.....	25
5.3. Impactos na dinâmica espacial.....	26
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	29
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

1. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, a necessidade de desenvolvimento econômico do Brasil deve ser conciliada com a importância da preservação da paisagem natural e da cultura dos povos indígenas. Apesar das leis de preservação, a dinâmica antrópica muda drasticamente instalando-se próximo das áreas protegidas.

O Estado do Mato Grosso apresenta uma intensa atividade do agronegócio cobrindo boa parte de sua área (Abutakka, 2010), pertencente ao bioma Amazônico, um dos biomas que possui a maior biodiversidade do planeta, e abriga uma porção significativa da cultura indígena do país. O Parque Indígena do Xingu (PIX) foi a primeira terra indígena a ser homologada pelo governo para fins de preservação ainda na década de 60 (ISA-ICV, 2010), abrigando diversas etnias e preservando os costumes indígenas da região. Esta reserva localiza-se na bacia hidrográfica do Alto Xingu caracterizada por ser uma extensa área que possui uma dualidade entre a preservação dos aspectos naturais da paisagem e a intensa atividade agropecuária inserida dentro da bacia.

Desta forma, o monitoramento e a gestão deste território são de extrema importância. No entanto, a vistoria e coleta de dados em campo são extremamente complicadas, por conta da grande extensão da área e da dificuldade de acesso em alguns locais, principalmente sobre a floresta amazônica. Neste contexto, o avanço contínuo das técnicas de monitoramento por sensoriamento remoto tem uma significativa contribuição oferecendo uma gama de produtos e imagens que cobrem diferentes faixas do espectro eletromagnético e possibilitam uma análise robusta do uso e cobertura da terra (Moraes Novo, 2010). Existem alguns exemplos de programas brasileiros de monitoramento da paisagem, como o Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia (PRODES) desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que utiliza ferramentas e dados do sensoriamento remoto para quantificar o desmatamento na Amazônia (INPE, 2009). Tais iniciativas mostram a importância das geotecnologias na gestão pública e ambiental de territórios e nos diversos estudos dos fenômenos físicos ou sociais.

A mensuração do comportamento das áreas de cultivo e pastagem traz a possibilidade da criação de um melhor instrumento de gestão, ou a criação de políticas públicas que sejam mais eficientes em fazer com que o desenvolvimento econômico não entre em confrontação direta com a preservação de biomas e recursos originários do local, ao contrário das medidas mitigadoras que já configuram uma prática comum do governo ao longo dos anos, visto que estes dois elementos são extremamente importantes para que o país se firme como uma grande potência no atual cenário

econômico-sustentável mundial. Então, qualquer anomalia que faça um dos elementos prevalecer sobre o outro levará o país ao colapso econômico ou ambiental.

O presente trabalho possui como objetivo analisar as mudanças ocorridas nos padrões de paisagem da bacia do Alto Xingu durante os anos de 2011, 2012 e 2013, avaliando o crescimento das áreas agrícolas próximos aos limites do PIX, com intuito de mostrar se o avanço realmente ocorreu, como ocorreu e onde ocorreu com maior intensidade. A análise da dinâmica espacial possibilitará um prognóstico primário, ainda que resguardados ao intervalo de tempo e à resolução espacial grosseira das imagens MODIS, para o avanço das atividades da agroindústria em meios às nascentes do rio Xingu e às áreas de preservação inseridas na bacia. Neste trabalho é utilizado o algoritmo de detecção automática de mudanças em séries temporais do sensor MODIS, desenvolvido pelo Laboratório de Sistema de Informações Espaciais (LISIE) da Universidade de Brasília (de Carvalho Júnior, 2015).

2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E SOCIOECONÔMICA DA ÁREA DE ESTUDO

2.1. Bacia do Alto Xingu

A bacia hidrográfica do rio Xingu está localizada na porção Norte-Nordeste do Estado do Mato Grosso (Figura 1). A bacia do alto curso do rio Xingu ocupa uma área de 17,7 milhões de hectares, sendo responsável por 1/3 da área total da bacia do rio Xingu, que compreende o alto, médio e baixo curso (ISA-ICV, 2010). A região do Alto Xingu é caracterizada pela dualidade entre a preservação de terras indígenas, mais precisamente do PIX, e do bioma natural frente às atividades do agronegócio, cada vez mais intenso em todo o país. Todas as suas características aliadas à grande extensão territorial fazem desta bacia uma área peculiar para estudo, seja tanto no âmbito físico ou social.

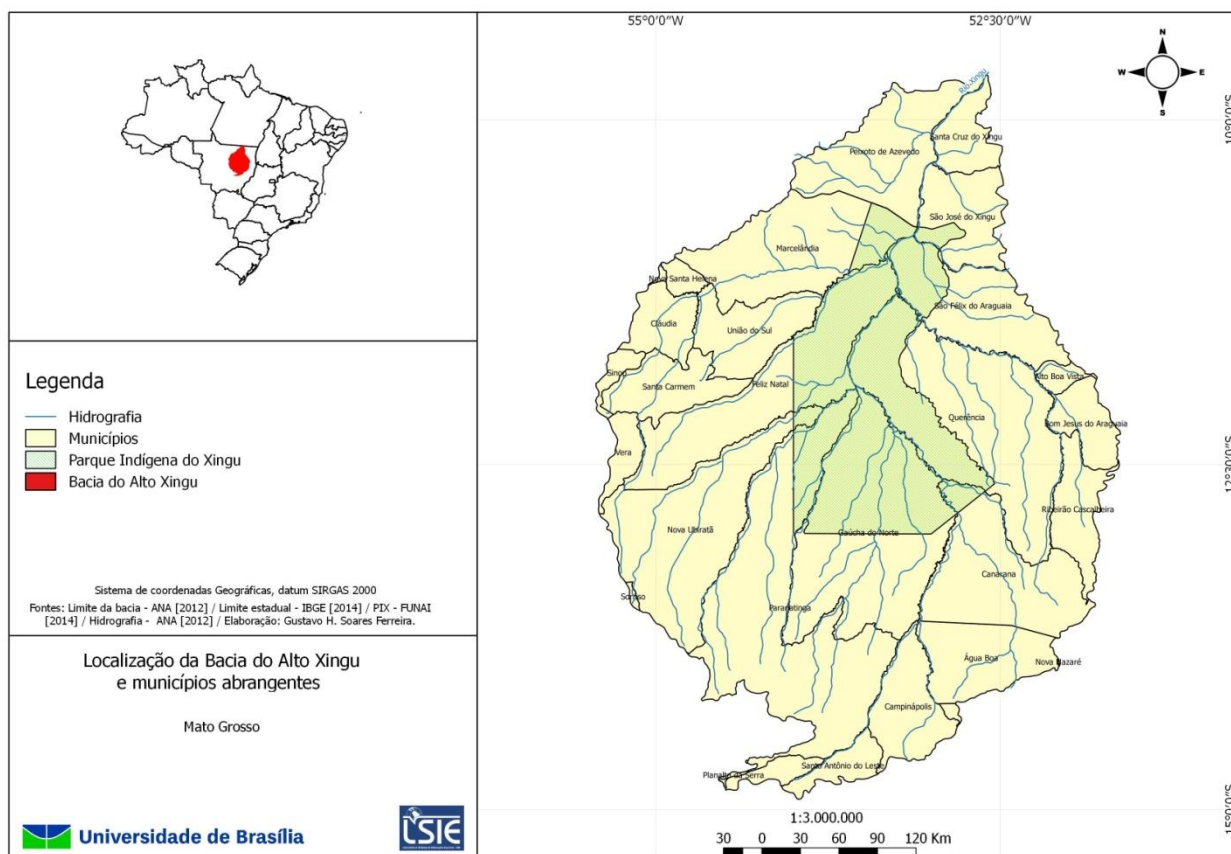


Figura 1. Mapa de localização da bacia do Alto Xingu e seus municípios abrangentes.

2.2. Aspectos físicos da paisagem

A geologia da bacia do Alto Xingu se encontra sobre o embasamento Arqueano/Proterozóico do Cráton Amazônico (Coutinho, 2008). Conforme Coutinho (2008):

“O Cráton Amazônico, contido predominantemente no Brasil, estende-se ao norte para os países vizinhos (Venezuela, Guiana, Suriname e Guiana Francesa), onde os limites estão encobertos por sedimentos fanerozóicos. A leste e sudeste limita-se pelo Cinturão Móvel Araguaia de idade Neoproterozóico e a oeste pela Cadeia Andina”.

A geologia da área é constituída pelo Grupo Parecis, que compreende uma grande bacia sedimentar a sudoeste do Cráton Amazônico possuindo sedimentos dos períodos Paleozóico, Mesozóico e Cenozóico, e pelo embasamento formado por rochas metamórficas, de alto e baixo grau, metassedimentos e rochas intrusivas (Bahia et al., 2007). A Bacia dos Parecis é uma das maiores bacias intracratônicas brasileiras, está localizada na região Centro-Oeste, entre as bacias do

Solimões, Alto Tapajós e Paraná, na região “*foreland*” da Cordilheira dos Andes (Bahia et al., 2006).

Na bacia do Alto Xingu se destacam as unidades: Cobertura Detrito-Laterítica Neogênica e Pleistocênica, cobrindo boa parte da bacia, juntamente com as aluviões Holocênicas provenientes dos cursos d’água do Alto Xingu, que (Rappy-Daniel, 2007) definiu como depósitos que acompanham os cursos d’água que fazem parte da Planície Amazônica (Figura 2). As outras unidades vistas se concentram na porção sul da bacia de modo mais aglomerado, por conta dos dobramentos existentes nesta área.

Em aspectos geomorfológicos, a bacia do Alto Xingu está contida predominantemente nas unidades “Planalto das Cabeceiras do Xingu” e “Planície Amazônica” (Figura 3). Em seu estudo para fins de aproveitamento hidrelétrico na bacia do rio Xingu, a Eletrobrás (2009) caracteriza a área do alto Xingu como situada em compartimentos geomorfológicos de Planaltos (Planalto dos Guimarães/Alcantilados, e Planalto Alto Xingu/Parecis) e Depressões (Araguaia/Tocantins, Paranatinga), com amplitude altimétrica entre 400 e 750m, caracterizados por rampas, colinas, morros residuais e escarpas (no Planalto do Alto Xingu/Parecis). Na bacia, é comum a ocorrência de amplas planícies aluviais, apresentando rios com alta sinuosidade, meândricos, associados a extensas planícies de inundação, Eletrobrás (2009).

Os tipos de solos predominantes na bacia do alto Xingu são Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico Típico e Neossolo Flúvico Distrófico Típico, caracterizados pela baixa disponibilidade de nutrientes e elevada toxidez por alumínio (Ivanauskas et al., 2008). Nas áreas de interflúvio predomina-se o Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média, com solos profundos e de melhor drenagem. O Neossolo Flúvico de textura argilosa está presente nas várzeas e, apesar da maior quantidade de potássio, possui problemas de drenagem e teores de alumínio mais altos. De modo geral, observa-se um predomínio dos Latossolos (Figura 4) (Ivanauskas et al., 2008).

A cobertura vegetal é constituída majoritariamente pelas florestas do bioma Amazônico, porém ainda abrange uma área de transição com o Cerrado na porção localizada mais ao sul da bacia, denominada Floresta Estacional Perenifólia, por apresentar uma composição florística própria, embora seja uma Floresta Estacional (Ivanauskas et al., 2008) (Figura 5).

O clima da bacia do Alto Xingu está inserido em uma área de transição entre Am3 e Aw (classificação de Köppen), sazonal com precipitação média anual de 2000 mm, baixa amplitude térmica anual, com temperatura média em torno de 24°C (Eletrobrás, 2009).

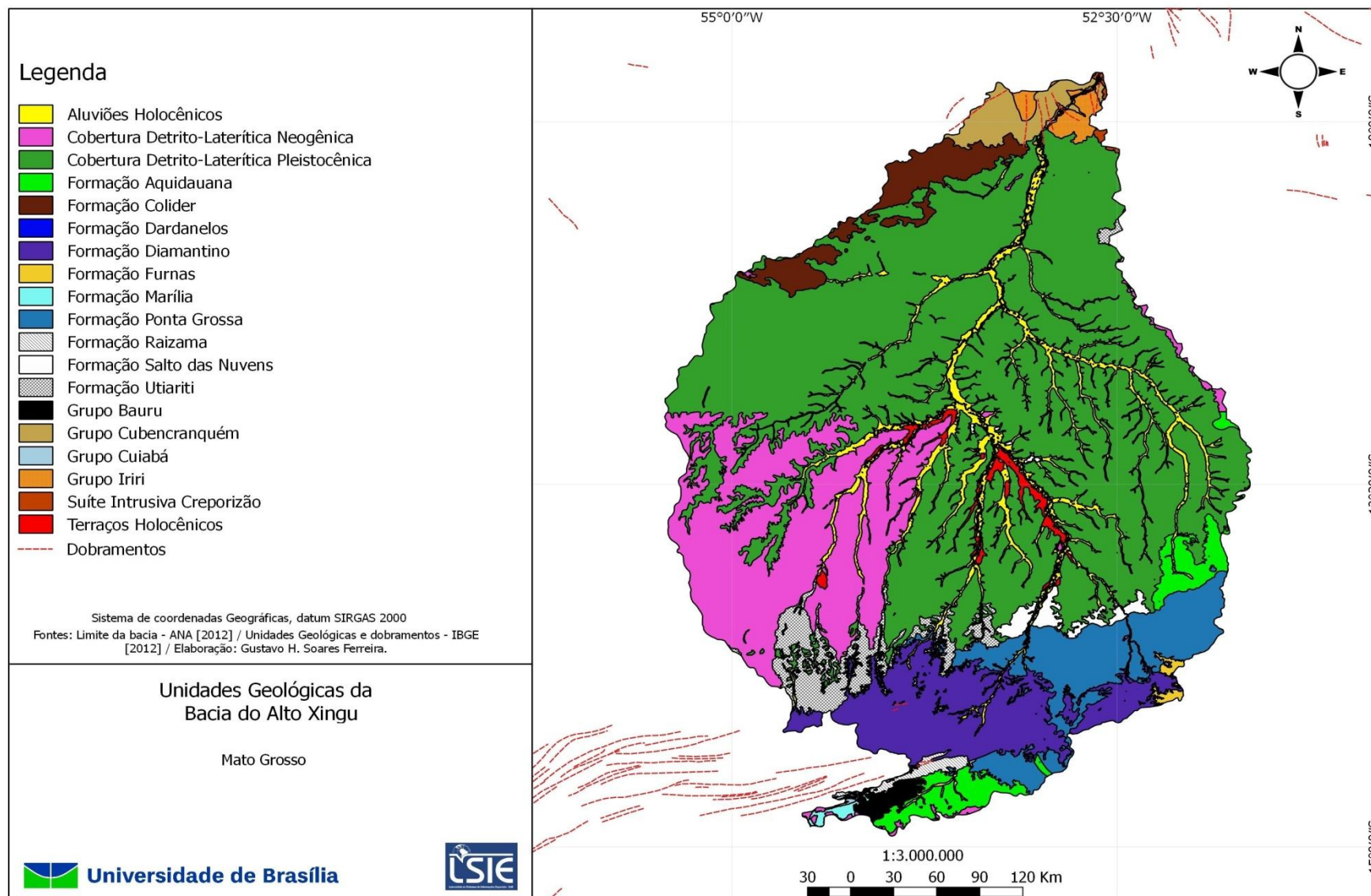


Figura 2.Unidades geológicas da bacia.

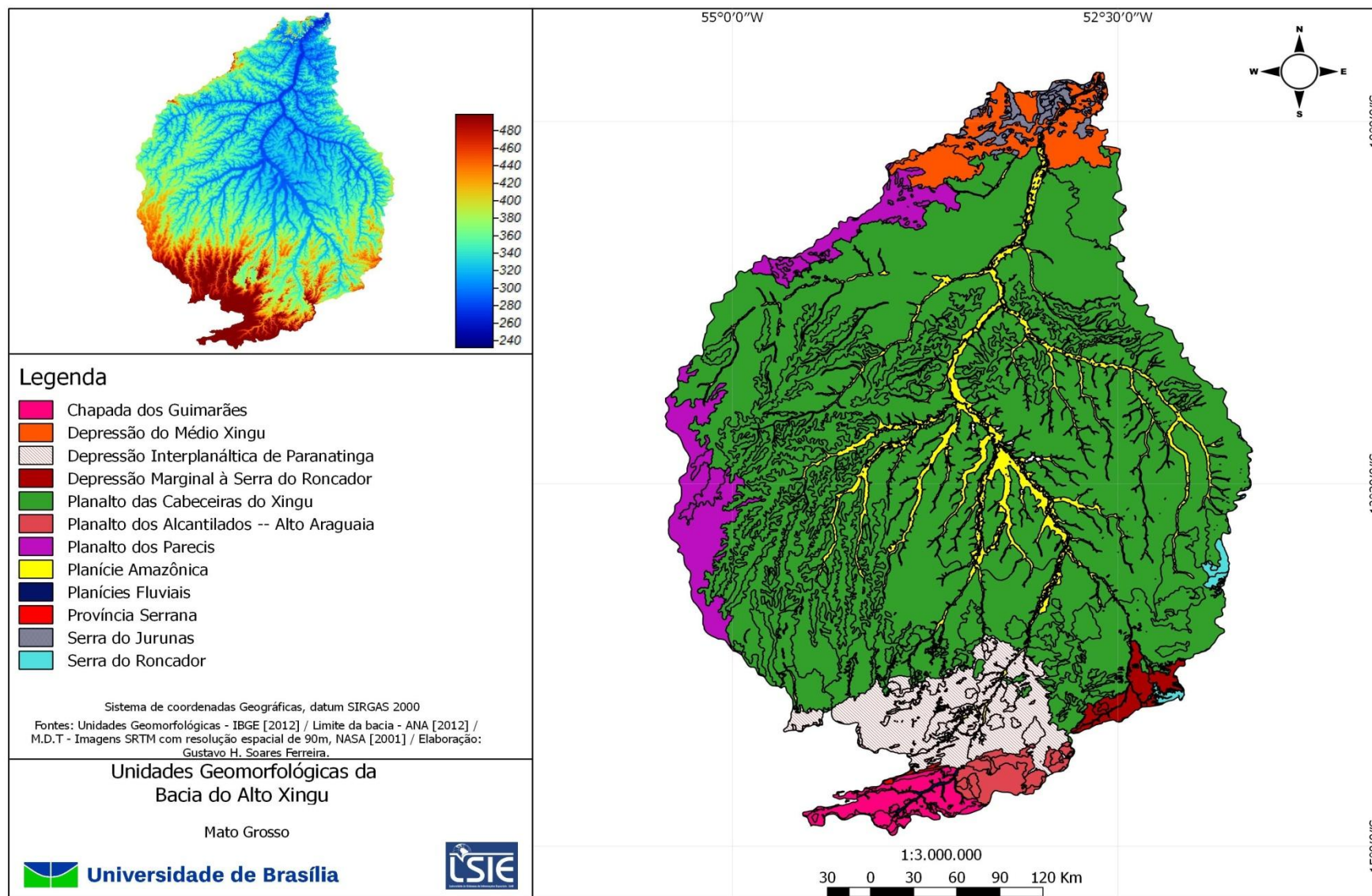


Figura 3. Unidades geomorfológicas da bacia e modelo digital do terreno, MDT.

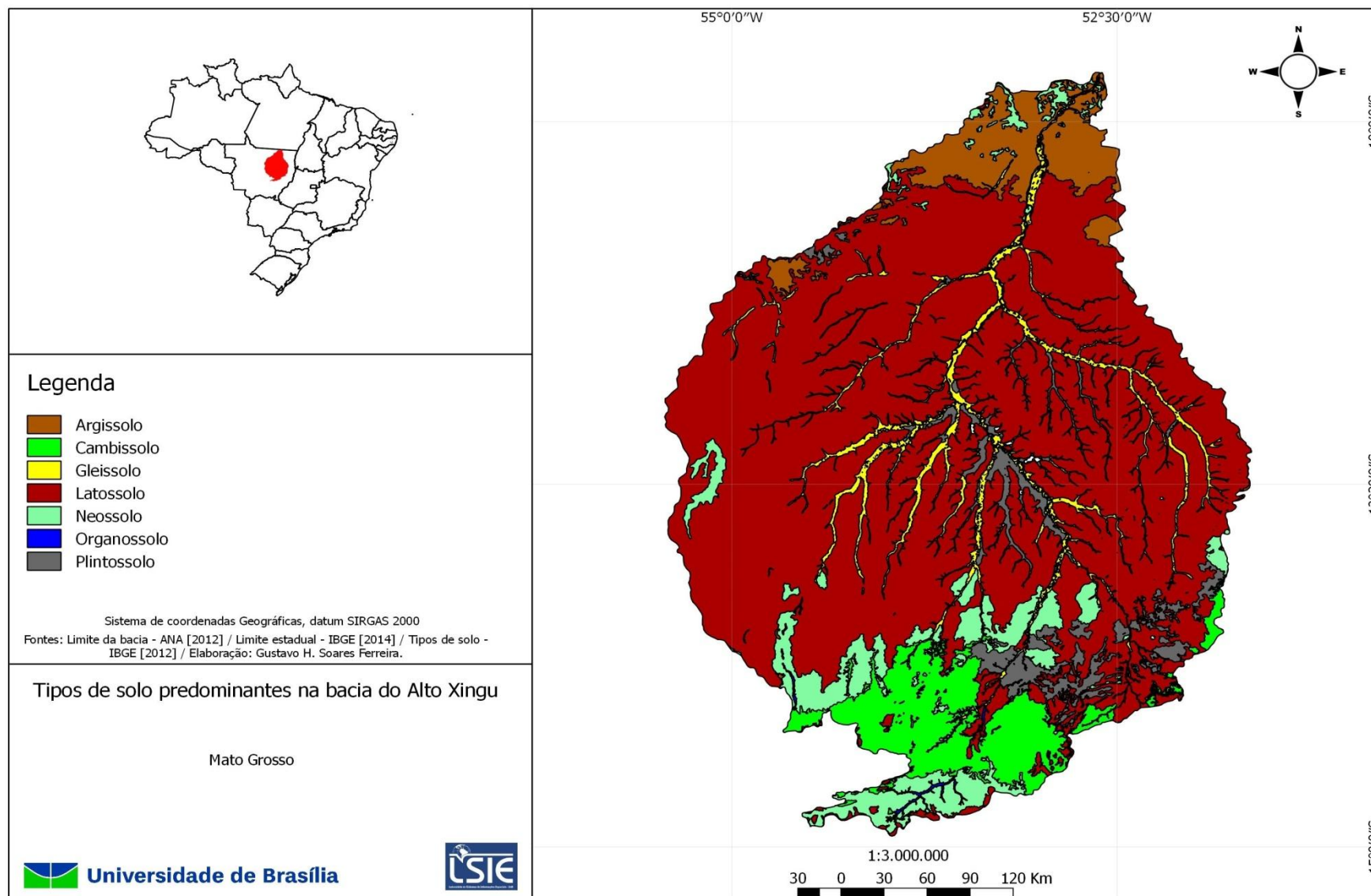


Figura 4. Tipos de solo predominantes na bacia.

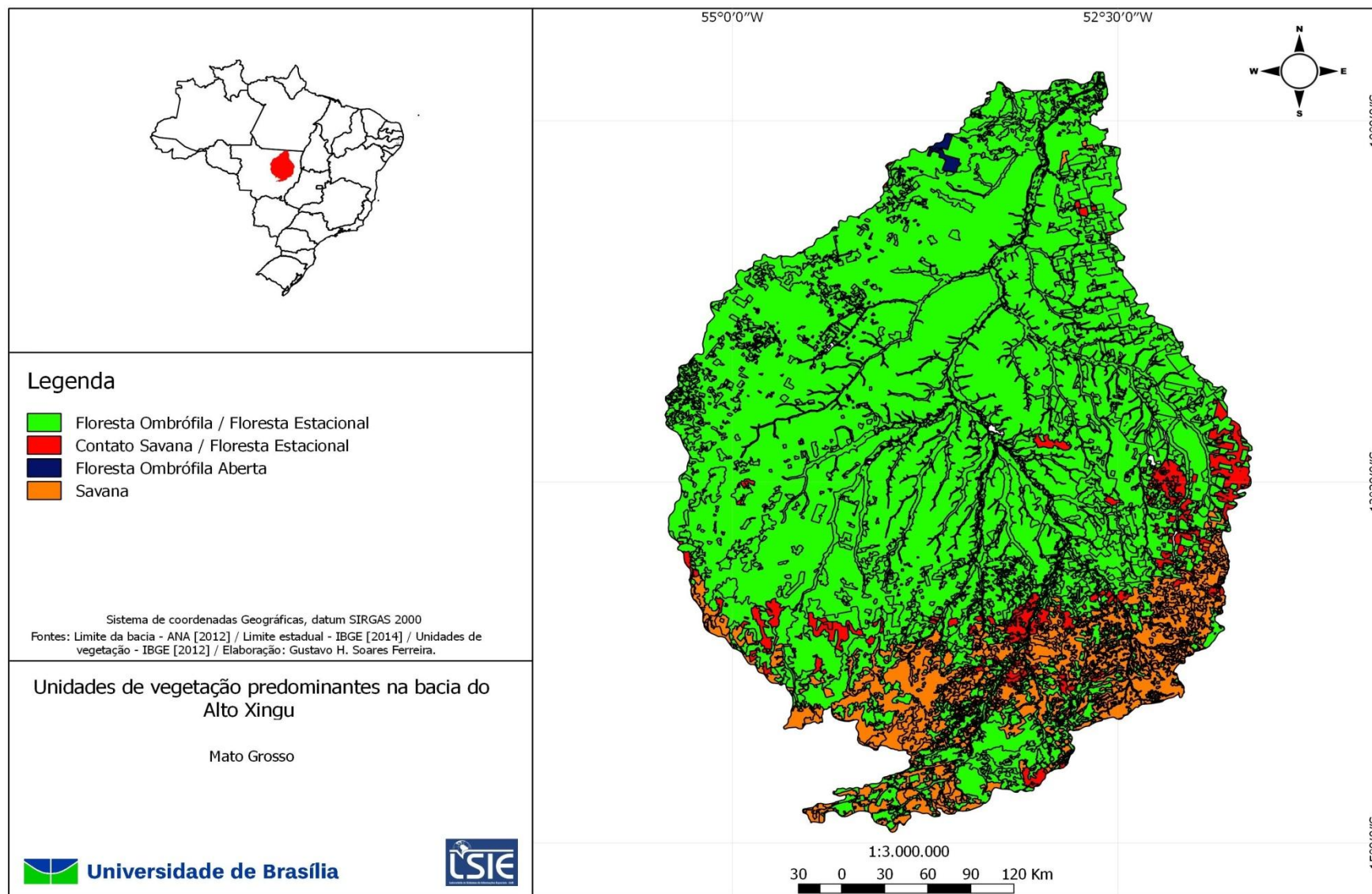


Figura 5. Unidades de vegetação predominantes na bacia.

2.3. Economia do Estado do Mato Grosso e do Alto Xingu

O Estado do Mato Grosso se tornou um expoente nacional nos setores da agroindústria. Nos últimos anos, o Estado vem firmando sua base econômica nas atividades de pecuária e, principalmente, na produção de milho, algodão e soja que são, em sua maioria, destinados à exportação (Abutakka, 2010). A partir dos anos 70 o Estado inicia uma intensa modificação proveniente dos seguintes fatores: implantação de uma estrutura viária, atribuição de um valor econômico às terras da região, reserva de mão de obra, interiorização da atividade produtiva pela implantação de uma agricultura de alimentos e os incentivos de financiadores nacionais e estrangeiros (Mato Grosso, 2001).

Todos estes eventos ocorridos ao longo do tempo corroboraram para que o Mato Grosso obtivesse a atual conjuntura espacial baseada na agroindústria, com um destaque para a cultura da soja, visto que o estado do Mato Grosso é o maior produtor do grão no Brasil, com uma produção que gira em torno de 20,4 milhões de toneladas por ano (EMBRAPA, 2013).

A figura 6 demonstra a distribuição da produção de soja e milho em cada município no ano de 2013, onde se percebe uma alta concentração na região central do Estado, e alguns municípios potenciais inseridos na bacia do Alto Xingu. A bacia do alto Xingu possui um alto potencial agrícola devido ao relevo pouco acidentado e os abundantes recursos hídricos. Segundo Kirchheim (2011) em seu estudo sobre prognósticos para uso da água subterrânea no estado diz:

“O Estado do Mato Grosso é contemplado com a ocorrência de um variado conjunto de sistemas aquíferos, sendo que existe um franco predomínio dos aquíferos formados por rochas sedimentares do domínio denominado poroso, onde se encontram aqueles com maior potencialidade em termos de reservas e volumes exploráveis. Os sistemas aquíferos mais produtivos neste sentido pertencem a Bacia dos Parecis os quais coincidentemente também apresentam a maior área de afloramento em relação à área total do Estado”.

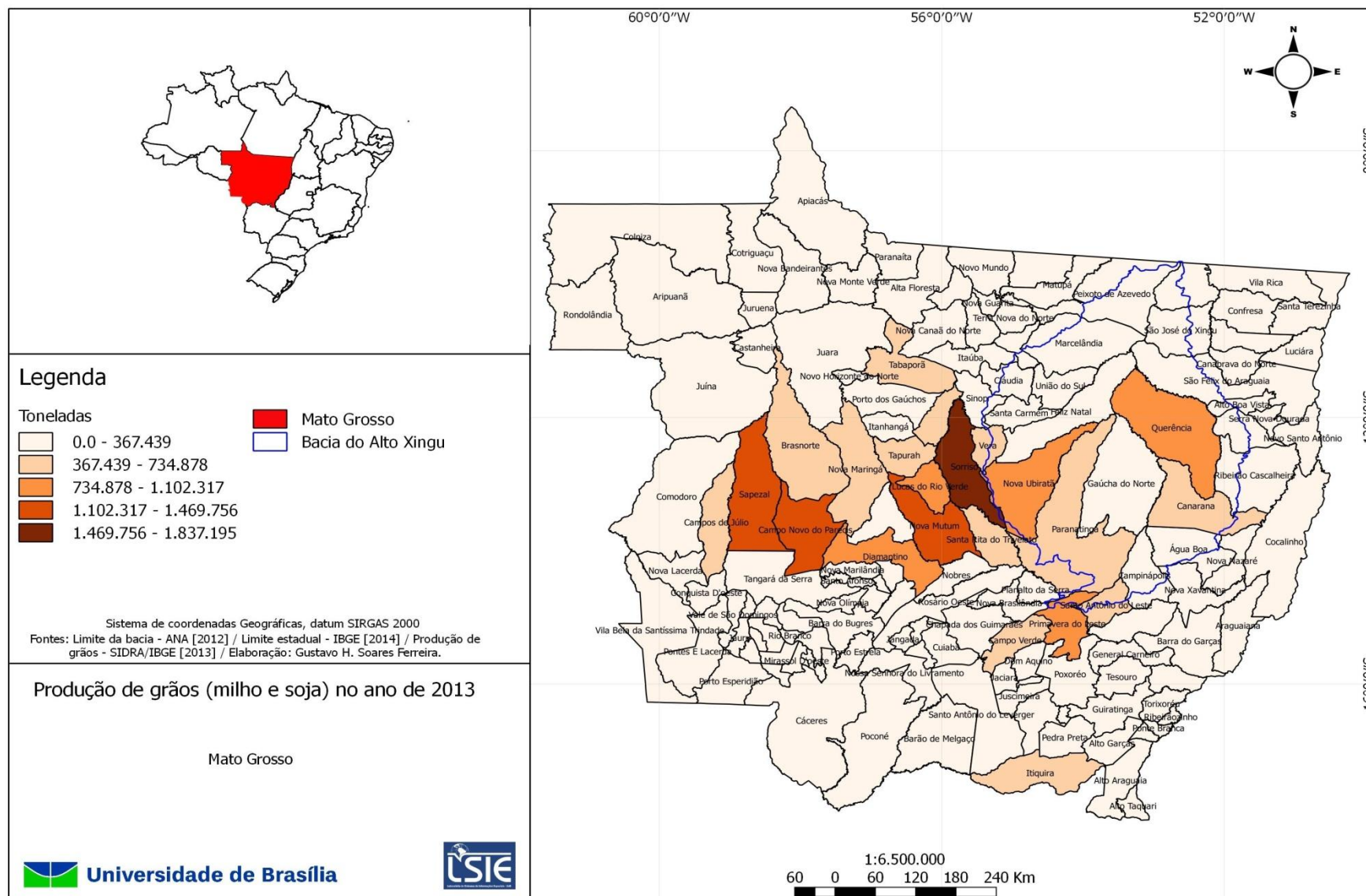


Figura 6. Distribuição da produção de milho e soja em 2013 no estado do Mato Grosso.

2.4. A questão indígena no Alto Xingu: Parque Indígena do Xingu

O PIX pode ser considerado o mais icônico caso de preservação de terra e cultura de povos tradicionais do Brasil, por ter sido a primeira terra indígena reconhecida e homologada pelo governo federal, onde são encontradas cerca de dezesseis etnias indígenas. Sua criação se deu no ano de 1961, pelo presidente Jânio Quadros, com participação ativa dos irmãos Villas Boas e de Darcy Ribeiro, seu intuito era preservar a cultura e a terra aos povos indígenas que lá ocupam.

“Localizado praticamente no centro geográfico brasileiro, o Parque Indígena do Xingu reúne 16 povos e é um símbolo da sócio diversidade brasileira. Com seu território e população ameaçados pela frente colonizadora do país, a criação do Parque, em 1961, foi resultado de uma mobilização de personalidades brasileiras, com os irmãos Villas Boas à frente, para delimitar um espaço reservado para os povos indígenas (ISA, 2011)”.

A gestão do PIX está a cargo da FUNAI, órgão indigenista do governo federal responsável pela gestão legal, administrativa e financeira das terras indígenas e proteção das populações indígenas (ISA, 2011). Apesar de um marco para as políticas indigenistas do Brasil, a criação do PIX excluiu grande parte dos territórios tradicionais fazendo com que alguns povos fossem remanejados para dentro do parque (ISA, 2011).

Nos dias atuais, o PIX sofre uma enorme pressão por conta do avanço da frente agropecuária perto de suas imediações, principalmente do cultivo de grãos, onde se é possível observar uma mancha verde de floresta amazônica no centro da bacia do Alto Xingu, uma “ilha de preservação” do bioma amazônico, rodeada por áreas agropecuárias caracterizadas por algumas centenas de polígonos de desmatamento para pastagem de gado e cultivo de grãos. Os dados de produção de grãos, milho e soja, nos municípios inseridos na bacia e vizinhos para o ano de 2013 salienta a intensidade das atividades agrícolas (Figura 7). O município de Sorriso contendo a maior produção de grãos faz limite com a bacia e, ainda existem alguns municípios, como Querência e Nova Ubiratã, que produzem quantidades significativas e estão completamente inseridos na bacia do Alto Xingu.

ISA (2011) descreveu muito bem as vulnerabilidades e situação do agronegócio próximo aos limites do parque em seu almanaque comemorativo dos 50 anos do PIX:

“Acentuada nos últimos 20 anos, a ocupação do entorno do Parque assentou-se inicialmente na atividade madeireira e na pecuária

extensiva e, mais recentemente, na plantação de soja, registrando ao longo dos últimos 30 anos, significativas taxas anuais de desmatamento. Há, ainda, atividades invasivas ao território indígena, como a exploração madeireira, caça e o turismo de pesca, todas predatórias. Outro fator de vulnerabilidade do PIX é o fato das cabeceiras dos rios formadores do rio Xingu estarem localizadas fora dos seus limites. A calha do rio Xingu corta ao meio o Parque e este, por sua vez, acaba fazendo às vezes de um “ralo regional”. Todos os impactos negativos sobre os rios formadores, poluição por agrotóxicos, desmatamento e movimentação de terra que produz assoreamento deságuam na calha do Xingu.”

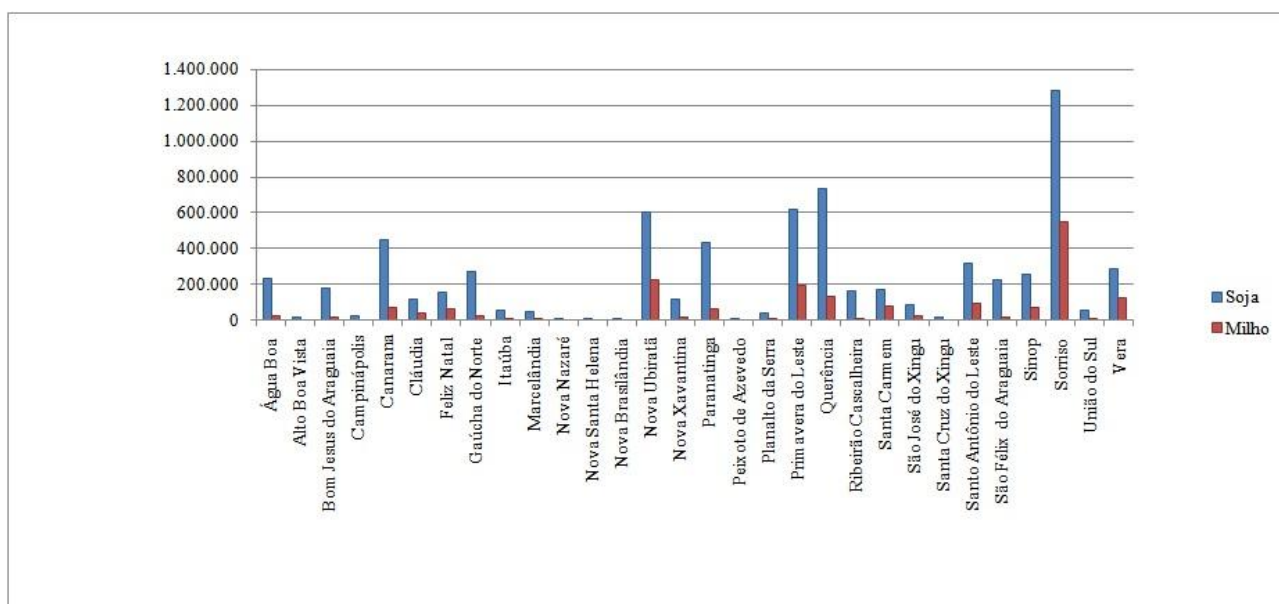


Figura 7. Gráfico de quantidade de grãos (toneladas) produzidos em 2013 nos municípios abrangentes pela bacia.

3. A ANÁLISE MULTITEMPORAL COMO SUBSÍDIO NO ESTUDO DO COMPORTAMENTO DO MEIO E NA GESTÃO TERRITORIAL

3.1. Emprego do Sensoriamento Remoto e dos Sistemas de Informações Geográficas no auxílio à gestão territorial

De acordo com Moraes Novo (2010), o sensoriamento remoto, por definição, é a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e

as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações. Sendo assim, durante décadas o sensoriamento remoto forneceu produtos para as mais diversas análises espaciais, desde estudos de comportamento até a criação de modelos de fenômenos. Nas últimas duas décadas, várias entidades, principalmente as de cunho governamental, estão fazendo uso massivo de dados providos do sensoriamento remoto para gestão e monitoramento do território, minimizando custos, maximizando o tempo de trabalho e atuando de forma eficiente em casos que precisam de um trabalho complementar de campo (Longley et. al. 2013).

Aliado ao sensoriamento remoto, o Sistema de Informações Geográficas (SIG) também tem grande importância na gestão remota do território possibilitando uma nova gama de análises e extrações de dados espacializados. Segundo Longley et. al. (2013), os SIGs, são sistemas computacionais feitos para armazenar e processar informação geográfica, eles são ferramentas que melhoram a eficiência e efetividade do tratamento da informação de aspectos e eventos geográficos. Então, assim como o sensoriamento remoto, os SIG também possuem grande potencial para o gerenciamento territorial e estão em constante uso para esta finalidade.

Longley et. al. (2013) cita algumas resoluções de questões operacionais e científicas pertinentes aos SIG, que se encaixam na abordagem territorial, como: monitorar e entender a distribuição espacial de atributos observados, tais como a variação de concentração de nutrientes no solo ou a geografia da saúde ambiental, compreender os processos no ambiente natural e social e prescrever de estratégias para manutenção e conservação ambiental, como na gestão de parques nacionais.

A interação entre SIG e sensoriamento remoto garante uma eficiência na análise de vastas extensões territoriais feitas à distância, o que não exclui uma boa verificação de campo em pontos focais. Através de três questões fundamentais relativas à dinâmica territorial, que são as perguntas: “o que?”, “quando?” e “onde?”, o profissional responsável pelo trabalho pode delimitar o raio de ação mais adequado e fazer com que as técnicas das geotecnologias executem seu processamento da melhor maneira possível, possibilitando um resultado puro, validado e passível de modelagens adequadas. Por estes motivos, esse arsenal de informações e processamentos espacializados vem tomando conta de vários segmentos, desde o comércio de bens e serviços, como o *geomarketing*, até o monitoramento de territórios estratégicos para o país, como os programas do governo federal, já citados neste trabalho, para a gestão ambiental e controle de fluxos.

3.2. A importância e valor do território

A categoria território pode ser descrita como um espaço definido e delimitado por e a partir de relações de poder, sua conceituação surge na Geografia Política como o espaço concreto em si, com seus atributos naturais e socialmente construídos, que é apropriado, ocupado por um grupo social (Gomes, 2012). O território pode assumir várias “formas”, por assim dizer, que são reproduzidas no espaço físico, por ser extremamente fluido, o território não se limita a uma condição de acontecer, pode se manifestar nas mais diversas escalas e intervalos de tempo, é a categoria do espaço que mais interessa aos grandes atores de um país, sejam eles governo ou não. O território pode ser construído, ou desconstruído, em velocidades absurdas ou em séculos, sua intimidade com o poder o faz adquirir características próprias que exigem uma gestão e monitoramento mais delicado, principalmente por parte do estado.

As relações de poder, muitas vezes conflituosas, imprimem suas marcas no espaço natural/físico, evidenciando um jogo de forças em formas físicas, Gomes (2012) afirma que sempre que houver homens em interação com um espaço, primeiramente transformando a natureza, ou espaço natural, através do trabalho, e depois criando continuamente valor ao modificar e retrabalhar o espaço social (onde se dão as relações sociais) estar-se-á também diante de um território.

Como exemplo disto tem-se a bacia do Alto Xingu, onde de um lado vêem-se os gigantes da agroindústria e pecuária, que reivindicam precisar de mais áreas para aumentar a sua produção e levar o Brasil a um maior desenvolvimento econômico pelas vias do agronegócio, tendo em vista que o país é farto do elemento primordial para este tipo de ocupação: a grande oferta de terra. Do outro lado observam-se a cultura, as raízes do interior do país e de seus povos originários juntamente com a componente de preservação da cultura indígena e dos recursos naturais, mais especificamente da água e da floresta amazônica que recobre a bacia. Existe ainda um terceiro, e talvez até mais importante, ator que é o governo federal, que tem como função a gestão deste território de forma idônea, resguardando as suas qualidades e potencialidades para o desenvolvimento, muitas vezes mediando conflitos entre os outros dois lados já mencionados.

Através do que já foi exposto, pode-se apreender a grande importância que o território tem para o seu país, se extrapolarmos para uma escala macro veremos que o próprio Brasil é um território de importância global. E assim são todos os recortes territoriais, extensões

geográficas que conferem alguma importância, seja ela física ou social, para uma organização espacial hierarquicamente superior onde vigoram as relações de poder. Então, a tarefa de gerir bem estes recortes, assim como assegurar a preservação de suas características mais importantes é dever do estado, que deve fazer com que suas políticas sejam eficientes em longo prazo e façam a devida mediação entre os envolvidos na teia de poder que cria os limites físicos deste território, garantindo assim o não abuso do uso territorial, advindo principalmente das práticas econômicas do modelo capitalista de desenvolvimento, e o melhor monitoramento das atividades no mesmo.

3.3. Análise multitemporal de dados contínuos para gestão do território

A variável “tempo” é fundamental em qualquer tipo de análise, se tornando um pilar dos trabalhos relacionados aos temas das geotecnologias. Câmara et. al. (2004) destacam que o tempo, em um nível de representação, pode ser separado em três aspectos fundamentais, que são: granularidade, variação e ordem. A granularidade refere-se ao instante, intervalo e período de tempo, a ordem diz respeito à fluidez temporal, que pode ser de forma linear, ramificada ou cíclica.

O último aspecto é o mais importante para este trabalho, a variação temporal, onde Câmara afirma ser subdividida em variação discreta e contínua. A variação discreta é usada quando o tempo é medido em certos pontos ou intervalos e a variação é descontínua entre estes pontos, a contínua é usada em situações que demandam uma análise mais minuciosa do espaço, sendo necessária uma cobertura temporal arbitrária. Câmara et. al. (2004) ainda aponta o uso de dados com variação temporal contínua para a detecção de áreas desmatadas entre dois instantes de tempo, visto que esse é um processo contínuo no tempo.

A análise multitemporal é um fator relevante para a gestão do território, onde a cobertura temporal contínua se faz imprescindível pela grande instabilidade dos seus limites, construídos muitas vezes através de conflitos.

4. METODOLOGIA

4.1. Sensor MODIS

O sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) (Figura 9) é o principal sensor presente na plataforma TERRA (Figura 8), pertencente ao projeto EOS “Earth Observing System” financiado pela NASA e lançado em Dezembro de 1999 (Moraes Novo, 2010). Segundo Moraes Novo (2010), o objetivo do programa EOS foi obter variáveis relevantes para a compreensão do Sistema Terrestre e obter um conhecimento mais profundo dos componentes desse sistema e das interações entre eles. O sensor MODIS possui ampla cobertura espacial e espectral adequadas nas pesquisas de mudanças na superfície e o estudo de mudanças globais (Anderson et. al. 2003; Barker et al., 1992). As imagens podem ser baixadas gratuitamente no site da NASA.



Figura 8. Fotografia do satélite TERRA, meses antes do seu lançamento. Fonte:
<<http://modis.gsfc.nasa.gov/>>

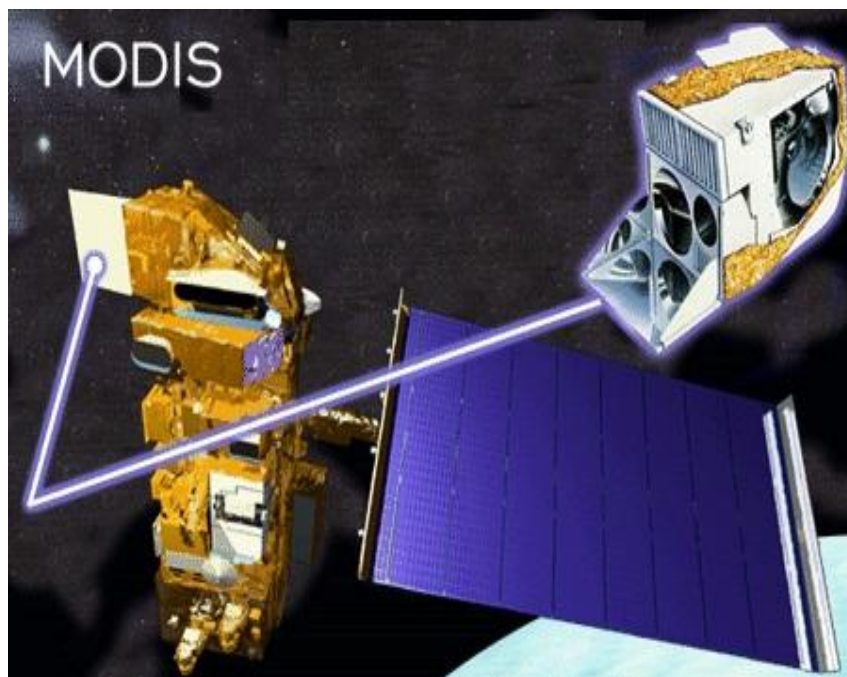


Figura 9. Concepção artística do sensor MODIS. Fonte: <<http://science.nasa.gov>>.

O sensor MODIS possui um total de 36 bandas espectrais que vão de 405nm até 14.385nm, divididas em resoluções espaciais de 250 metros, onde se tem duas bandas, 500 metros, com cinco bandas, e 1000 metros, com 29 bandas, sua revista se dá quase que diariamente, variando de um a dois dias, o que potencializa ainda mais uma análise multitemporal (NASA 2003).

Segundo Strahler et. al. (1999), *Apud* Anderson et. al. (2003):

“O objetivo dos produtos gerados pelo sistema MODIS está, basicamente, na quantificação e detecção das mudanças da cobertura terrestre, e nos processos naturais e antrópicos, auxiliando assim, nos diversos modelos regionais e globais existentes”.

Para o presente trabalho, foi feito o uso das imagens com resolução espacial de 250 metros, cujo produto é denominado MOD9Q1 (Tabela 1). O produto MOD9 é referente à reflectância da superfície, nas bandas um a sete de estudo da superfície terrestre com os comprimentos de onda centrados em 648 nm, 858 nm, 470 nm, 555 nm, 1240 nm, 1640 nm, e 2130 nm, respectivamente, as bandas um (vermelho) e dois (infravermelho próximo) correspondem ao produto MOD9Q1(Anderson et. al., 2003).

Depois de baixadas, as imagens foram convertidas do formato HDF (*Hierarchy Data Format*) para GEOTIFF também foi feita a separação por bandas, a fim de se fazer a montagem dos cubos de séries temporais.

Tabela1. Informações do produto MOD09Q1, adaptado de Anderson et. al. (2003).

Nome Curto	Nome por extenso	Resolução Temporal	Resolução Espacial	Data inicial
MOD09Q1	MODIS/Terra Surface Reflectance 8-Day L3 Global 250m ISIN Grid	8-Dias	250m	6/9/00 2000

Após serem adquiridas, as imagens passaram pelo processo de “empilhamento” ou confecção do cubo multitemporal. A montagem do cubo multitemporal, referente a cada banda das imagens MODIS foi feita pelo *software* ENVI 4.7, onde se puderam unir todas as imagens captadas e organizá-las em três eixos, sendo dois deles relacionados às coordenadas geográficas, o eixo X correspondente às linhas, o eixo Y correspondente às colunas, o terceiro eixo, Z, correspondente à junção das imagens ao longo dos dias e anos coletados (Figura 10). O eixo Z representa o espectro temporal de cada pixel, portanto é possível observar como cada alvo se comporta durante o ano e as mudanças que ocorrem ao longo do tempo, (Carvalho Júnior et. al., 2009).



Figura 10. Cubo multitemporal de imagens MODIS referentes aos anos de 2011, 2012 e 2013.

4.2. Índice de vegetação e tratamento de ruídos

Com o propósito de ressaltar a vegetação foi aplicado o índice de vegetação por diferença normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index*- NDVI), uma razão de bandas que objetiva evidenciar as áreas vegetação fotossinteticamente ativa. A equação do NDVI envolve a banda do infravermelho próximo (NIR), com alto valor de reflectância para a vegetação, e do vermelho (RED), com baixo valor de reflectância:

$$NDVI = (NIR - RED)/(NIR + RED)$$

Os valores de NDVI variam de -1 a 1, quanto mais próximo do valor 1 maior é a densidade da vegetação (Meneses et. al., 2011). Os índices de vegetação minimizam as interferências relativas às variações provenientes do ângulo solar e dos efeitos atmosféricos observados para dados multitemporais (Carvalho Júnior et. al., 2008).

Após a geração do índice NDVI, ainda é preciso eliminar os ruídos das imagens MODIS. A presença de ruídos em imagens de satélite é algo extremamente comum, principalmente os ruídos causados pela transmissão de dados (Marques Filho, 1999). O ruído pode ser qualquer tipo de informação indesejada que obstrui a aquisição e o processamento da informação desejada. Tipicamente, esses ruídos espúrios e imprevisíveis são decorrentes de erros instrumentais (Meneses et al., 2011). Como exemplo, temos o ruído do tipo impulsivo (sal e pimenta) que normalmente ocorre devido a defeitos no sistema de geração da imagem (Marques Filho, 1999).

Desta forma, a aplicação adequada de filtros se faz necessária para a eliminação de ruídos e uma análise correta da imagem, vale ressaltar que para as séries temporais do MODIS o processo de filtragem é um pouco distinto do usual, pois a maioria dos filtros atua no domínio espacial ou de frequência da imagem, e neste trabalho a filtragem se dá no seu domínio temporal, para tal, foram usados dois tipos de tratamento: a filtragem por mediana (programa ABÍLIO), e transformação MNF (programa ENVI 4.7).

O filtro de Mediana é um método não linear, que realiza uma organização das observações em ordem crescente identificando o valor central. Considerando um ordenamento estatístico de N números reais $x(1) \dots x(N)$, em que N representa a janela do filtro digital, se o valor mínimo é $x(1)$, o máximo $x(N)$, sua mediana será $M ((N + 1) / 2)$ (Couto Júnior et al., 2012).

O filtro de mediana executa uma janela móvel sobre a assinatura temporal e obtém o valor mediano que é tomado como saída (Carvalho Júnior et. al., 2012). Neste estudo foi aplicado o filtro de mediana com janela de 7x7 e limite de picos em 0,2, de modo a eliminar os picos no espectro que ultrapassem o valor de 0,2.

O segundo método utilizado foi a transformação MNF (*Minimal Noise Fraction*), ou FMR (Fração Mínima de Ruído), que consiste basicamente na separação entre sinal e ruído das imagens para a extração de um sinal mais puro e a eliminação das componentes ruidosas (Green et. al., 1988). O MNF é um procedimento baseado na Análise de Componentes Principais (ACP ou PCA em inglês) e, além de reduzir a dimensionalidade dos dados permite a remoção do ruído e a demanda computacional, por meio de duas transformações (Green et. al., 1988).

O FMR possui a característica de maximizar a razão sinal/ruído para o ordenamento das imagens de acordo com a qualidade, e pode ser dividido em quatro etapas: obtenção de uma amostra do ruído e cálculo de sua matriz de covariância; estabelecimento de um índice de fracionamento do ruído; aplicação da função de transformação linear nos moldes da ACP, e a inversão do procedimento do MNF considerando apenas a fração do sinal (Carvalho Júnior et. al., 2002). Este procedimento permite uma boa suavização sem causar grande degradação do sinal (Green et.al., 1988).

4.3. Classificação

Segundo Moraes Novo (2010), o processo de atribuir significado a um *pixel* em função de suas propriedades numéricas é chamado de “classificação”. As técnicas de classificação visam, em última análise, atribuir a cada *pixel* um rótulo em função de suas propriedades espectrais e/ou espaciais, sendo assim, as técnicas de classificação podem ser divididas em duas tipologias, não-supervisionada/automática, e supervisionada/manual. Para este trabalho foi utilizado o tipo de classificação supervisionado, que demanda um conhecimento prévio do analista sobre a localização espacial de algumas amostras das classes de interesse (Moraes Novo, 2010).

O método de classificação supervisionada escolhido foi o da mínima distância euclidiana presente no programa ABILIO, (Carvalho Júnior et. al., 2009). A distância euclidiana é uma das medidas mais utilizadas em classificações, a sua formulação é expressa pela relação da assinatura temporal de referência (R) e o da imagem (I) considerando um

espaço n-dimensional descrito pelo número de bandas, conforme descrito na equação:

$$D(R, I) = \left[\sum_{i=1}^{i=n\delta} (R_i - I_i)^2 \right]^{1/2}$$

Neste método, quanto maior a distância euclidiana menor e a possibilidade do espectro da imagem estar no mesmo grupo que o de referência. Para efetuar a classificação o *pixel* adquire o rótulo da curva com menor distância euclidiana entre as curvas analisadas.

A figura 11 mostra o funcionamento do método por mínima distância no espaço bidimensional, com a delimitação de três classes de interesse. Para este trabalho foram coletadas as amostras dos seguintes alvos: vegetação (floresta), solo exposto (contemplando as áreas de cultivo de grãos e pastagem, ainda que em menor quantidade), e vegetação de várzea, (áreas de vegetação úmida que margeiam os cursos d'água, acompanhando o seu traçado), (Figura 12). Os alvos correspondentes aos corpos d'água receberam uma máscara por conta de não serem relevantes para o estudo em questão.

Importante destacar a quantidade de curvas espectrais coletadas do mesmo alvo a fim de se evitar uma grande homogeneização das classes, já típica do método por mínima distância, e obter um maior grau de precisão na classificação fazendo com que o algoritmo trabalhe com várias distâncias do mesmo alvo.

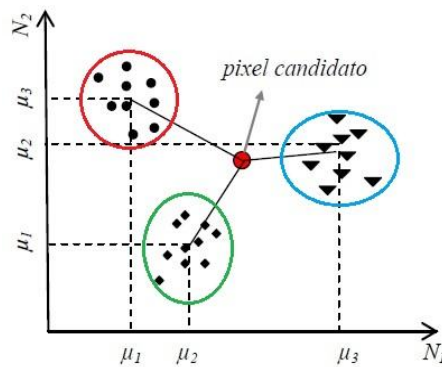


Figura 11. Representação do processo de classificação por mínima distância no espaço bidimensional, onde os círculos coloridos representam as classes pré-definidas, adaptado de Meneses et. al. (2011).

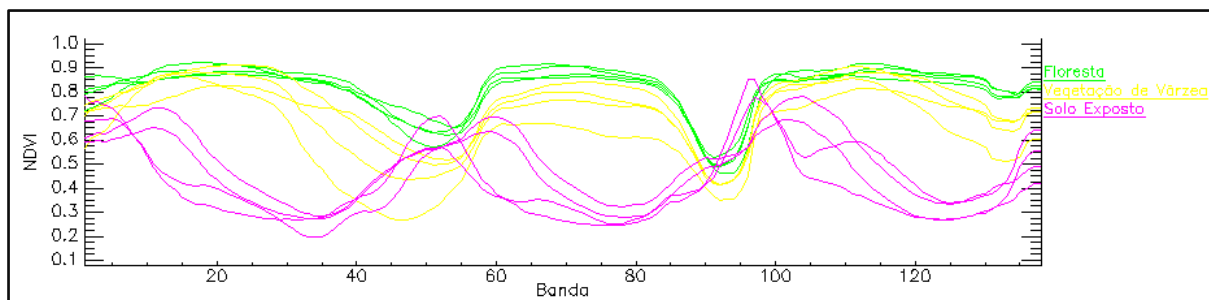


Figura12. Biblioteca espectral co o comportamento dos alvos coletados em suas respectivas cores de classificação.

4.4. Detecção de Mudança

Segundo Singh (1989), detecção de mudanças é o processo de identificar diferenças no estado de um objeto ou fenômeno por observá-lo em momentos diferentes, essencialmente, envolve a capacidade de quantificar os efeitos do tempo utilizando dados multitemporais. Lunetta et. al. (2006) evidencia a importância do tipo de dado utilizado e a frequência com que ele cobre a área de estudo.

Existem, basicamente, dois grandes grupos em que se inserem os métodos de detecção de mudança, por pré-classificação e pós-classificação. Os métodos de pré-classificação utilizam técnicas de processamento baseadas em análises semiautomáticas de imagens e análise de principais componentes, já os métodos por pós-classificação são mais confiáveis, pois são mais robustos e por isso são utilizados, também, para validar métodos emergentes, Lunetta et. al. (2006).

O método de detecção de mudanças utilizado neste trabalho é o de pós-classificação presente no programa ABILIO, construído no departamento de Geografia da UnB, em linguagem de programação C++ (Carvalho Júnior et. al., 2015). O método realiza a tabulação cruzada, entre imagens sucessivas ao longo do tempo gerando um resultado, em formato de imagem, com a migração ou não migração de pixels de suas classes de origem para outras classes.

“No procedimento de tabulação cruzada, as classes de uma imagem são comparados com as de uma segunda, e o resultado é o número de combinações. Esta análise proporciona imagens básicas sequenciais de detecção de mudanças ao longo do tempo, (Carvalho Júnior et. al., 2015).”

Com o objetivo de obter um resultado com a maior possibilidade de ser acurado,

optou-se pela escolha de uma área teste inserida na bacia, em sua porção oeste, com um valor de área de aproximadamente 3,2 milhões de hectares. Esta área abrange parte do parque indígena, afluentes do rio Xingu e as áreas de solo exposto destinadas à agroindústria.

Tal escolha foi motivada, principalmente, pela capacidade de processamento que seria exigida da máquina se o procedimento fosse executado em toda a bacia, levando em consideração o emprego do algoritmo e a análise de acurácia do produto, o tempo necessário para todo o procedimento seria extremamente maior.

4.5. Análise de acurácia

Em trabalhos que envolvem classificação de imagens ou detecção de mudanças, a análise de acurácia se faz necessária, visto que existem erros atrelados ao processo. Acurácia não pode ser confundida com precisão, porém este equívoco é comum entre os interpretadores, Antunes e Lingnau (1997) descrevem bem a diferença entre os dois:

“A acurácia seria expressa pelo desvio padrão da amostra do valor real da população. A precisão poderia ser relacionada ao desvio padrão da média da amostra. É possível que uma amostragem possua uma alta precisão, ou seja, em pequeno desvio em relação à média, e ao mesmo tempo, devido a falta de exatidão, um grau acurácia inferior.”

Os erros contidos no processo podem ser oriundos de diversas fontes, como má calibração do sensor, correções geométricas e radiométricas erradas, e até o uso incorreto da ferramenta pelo usuário. Montgomery e Schuch (1993) listam alguns elementos em que pode ser feita uma análise de acurácia, seriam eles: o elemento posicional, referente ao caráter geométrico e sua precisão, o de área obtida por categoria classificada, e o elemento temático, que se refere ao grau de precisão da classificação das diferentes categoriais, este deve obedecer a um grau de generalização que consiga refletir a classe real do terreno.

Os erros devem ser minimizados após quantificação por técnicas de mensuração de acurácia. O coeficiente *Kappa* é largamente utilizado em trabalhos de classificação de imagens por estabelecer um grau de concordância em escalas nominais, desde que sejam cumpridas algumas condições como, independência de unidades e de classes, assim como do classificador e os pontos de referência coletados (Cohen, 1960; Lunetta et. al., 2006).

A equação do coeficiente *Kappa*, onde *Po* significa a proporção de pontos de referência que concordam, e *Pe* representa a proporção de elementos atribuídos a determinada classe ao acaso (Cohen, 1960):

$$K = \frac{Po - Pe}{1 - Pe}$$

Para fins de interpretação do coeficiente, deve-se apreender que o mesmo varia de -1 a 1, onde quanto mais próximo de 1 maior será a concordância entre as classes analisadas, e quando *K*=1, há concordância total entre a referência e as categorias classificadas (Cohen, 1960). Para este trabalho, a análise de acurácia, pelo coeficiente *Kappa*, será feita com uma imagem do satélite Landsat5 como verdade de campo, com resolução espacial de 30 metros, com procedimento de classificação feito pelo mesmo método aplicado nas imagens MODIS. A tabela abaixo mostra a qualidade da classificação de acordo com cada coeficiente adquirido:

Tabela 2. Qualidade de classificação adaptado de Landis e Koch (1977).

Coeficiente <i>Kappa</i>	Acurácia
< 0.00	Pobre
0.00-0.20	Ruim
0.21-0.40	Razoável
0.41-0.60	Moderado
0.61-0.80	Substancial
0.81-1.00	Quase Perfeito

5. RESULTADOS

5.1. Eficácia no tratamento dos ruídos

A metodologia utilizada para o tratamento de ruídos se mostrou bastante eficaz (Figura 13). O espectro foi bem suavizado logo no primeiro procedimento com o filtro de mediana, removendo os picos gerados por nuvens e ruídos do tipo impulsivo. A transformação MNF gerou uma curva temporal suavizada e uma imagem adequada para o procedimento de

classificação (Figura 14). A escolha do limiar de picos e do número de janelas a serem usadas no filtro de mediana foi crucial para que o método agisse corretamente, sem que houvesse degradação no cubo multitemporal.

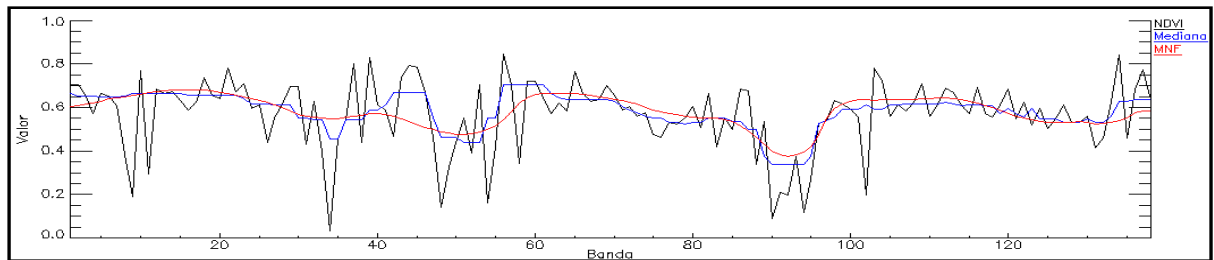


Figura 13. Resultado do tratamento de ruídos no comportamento espectral.

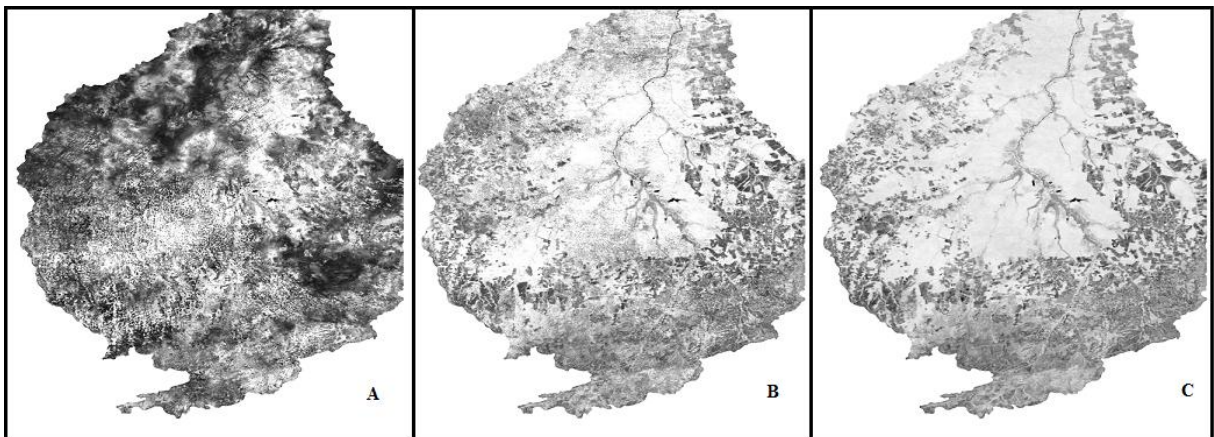


Figura 14. Resultado do tratamento de ruídos na imagem, espectro bruto (A), mediana (B) e MNF (C).

5.2. Classificação e teste de acurácia

As classificações das imagens MODIS demonstraram uma correspondência visual principalmente para as áreas de florestas (Figura 15). No entanto, observa-se uma alta porcentagem de erros nas bordas das classes e nas regiões de várzea. Parte da limitação observada é proveniente da mudança de resolução espacial entre os sensores MODIS (250 metros) e a LANDSAT (30 metros), uma imagem com resolução superior certamente mostrará os alvos com maior precisão, neste caso a resolução da imagem usada como verdade de campo é quase nove vezes melhor que a utilizada no trabalho.

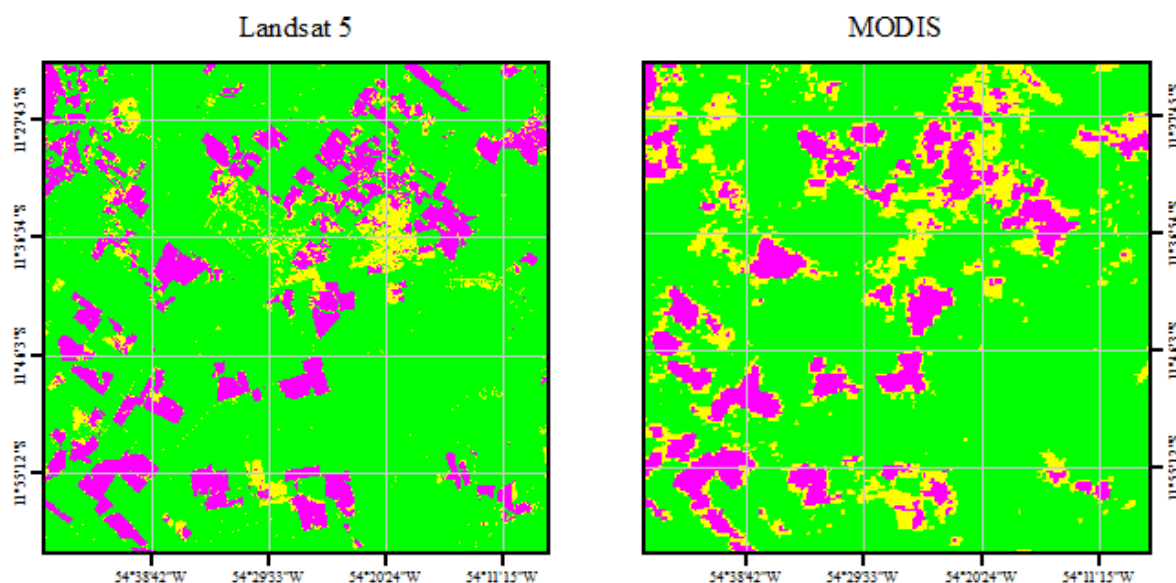


Figura 15. Comparação entre as duas imagens classificadas na geração do coeficiente Kappa.

A acurácia total foi 81.6714% enquanto que o coeficiente *Kappa* apresentou um valor de 0.6454, considerado substancial segundo Landis e Koch (1977). A acurácia total obteve resultados melhores devido à classe de vegetação que possui um alto grau de concordância com a classificação da imagem Landsat e apresenta uma grande homogeneidade e extensão.

Por outro lado, a classe vegetação de várzea possui baixa concordância com a imagem Landsat e foi a maior responsável pelo valor registrado no coeficiente *Kappa*, ou seja, se houvesse uma melhora na concordância da classe vegetação de várzea o coeficiente se elevaria substancialmente. Resguardando a resolução espacial das imagens, o valor do coeficiente *Kappa* foi razoavelmente satisfatório. Isso mostra que a metodologia utilizada, no que diz respeito ao processo de classificação, ainda pode ser aperfeiçoada.

5.3. Impactos na dinâmica espacial

A dinâmica espacial dos três anos analisados demonstrou um aumento de áreas de solo exposto, o número de *pixels* que migraram de outras classes para a de solo exposto aumentou e deixou clara a tendência, com o acréscimo de quase trezentos mil hectares para dois anos após o intervalo analisado na área teste (Figura 16).

O vetor de propagação não mostrou uma direção constante de avanço da classe solo exposto, no primeiro biênio analisado, 2011-2012, a propagação se concentrou mais na porção sul da área de estudo, formando grandes polígonos de solo exposto um pouco mais distante do

parque. Já no segundo biênio, 2012-2013, se pode notar um avanço mais sensível, migrando para o centro da bacia do alto Xingu, convergindo para o PIX (Figura 17), formando polígonos mais fragmentados ao longo da área teste.

Observa-se que, a partir desta análise, a classe solo exposto não ultrapassou os limites do Parque Indígena, considerando a área teste, as mudanças ocorridas no interior do parque se devem ao avanço ou retração da vegetação de várzea, principalmente nas margens do rio principal, o Xingu, que mostra um comportamento adequado às estações bem definidas de seca e chuva típica da região Centro-Oeste, evidenciando um aumento da classe de outubro a junho e uma ligeira diminuição nos demais meses. No geral, a classe vegetação de várzea, que foi mesclada com a classe vegetação no gráfico (Figura 16), mostrou um aumento no ano de 2012 e uma tímida diminuição no ano de 2013 onde, fora dos limites do parque, perdeu espaço para o solo exposto, o mesmo aconteceu com a classe vegetação, registrando uma perda de mais de 80.000 hectares de sua área total nos três anos, porém ainda continuou recobrando a maior parte da área teste graças ao PIX, que no geral, é responsável por 30,3% da área total coberta pela vegetação na bacia do Alto Xingu.

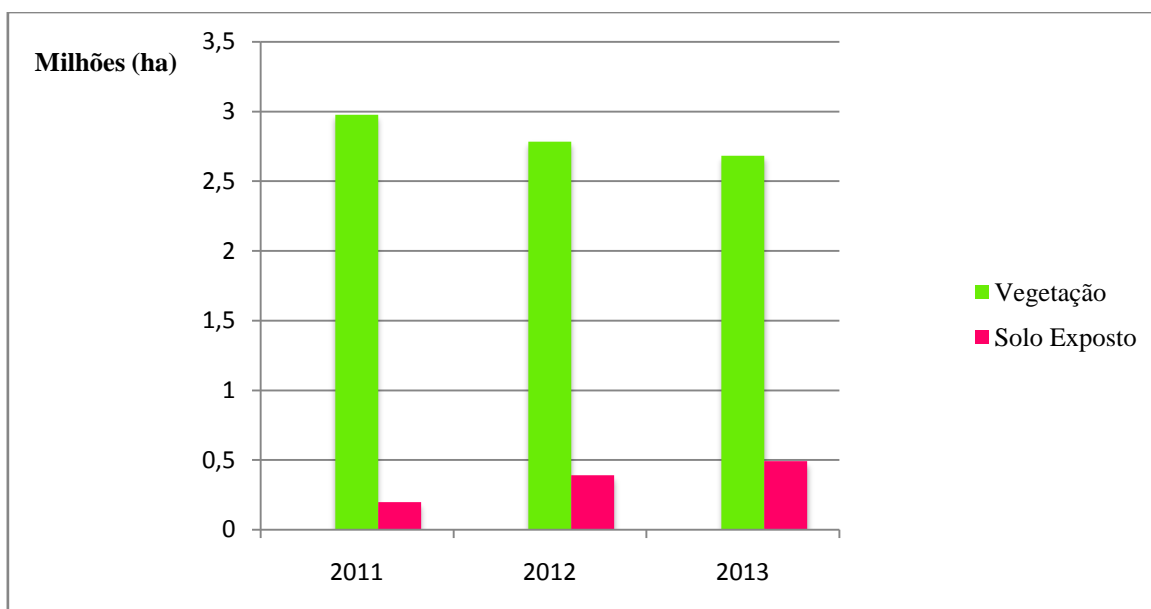


Figura 16. Gráfico de migração de classes com tendência linear para os próximos dois anos para a classe solo exposto

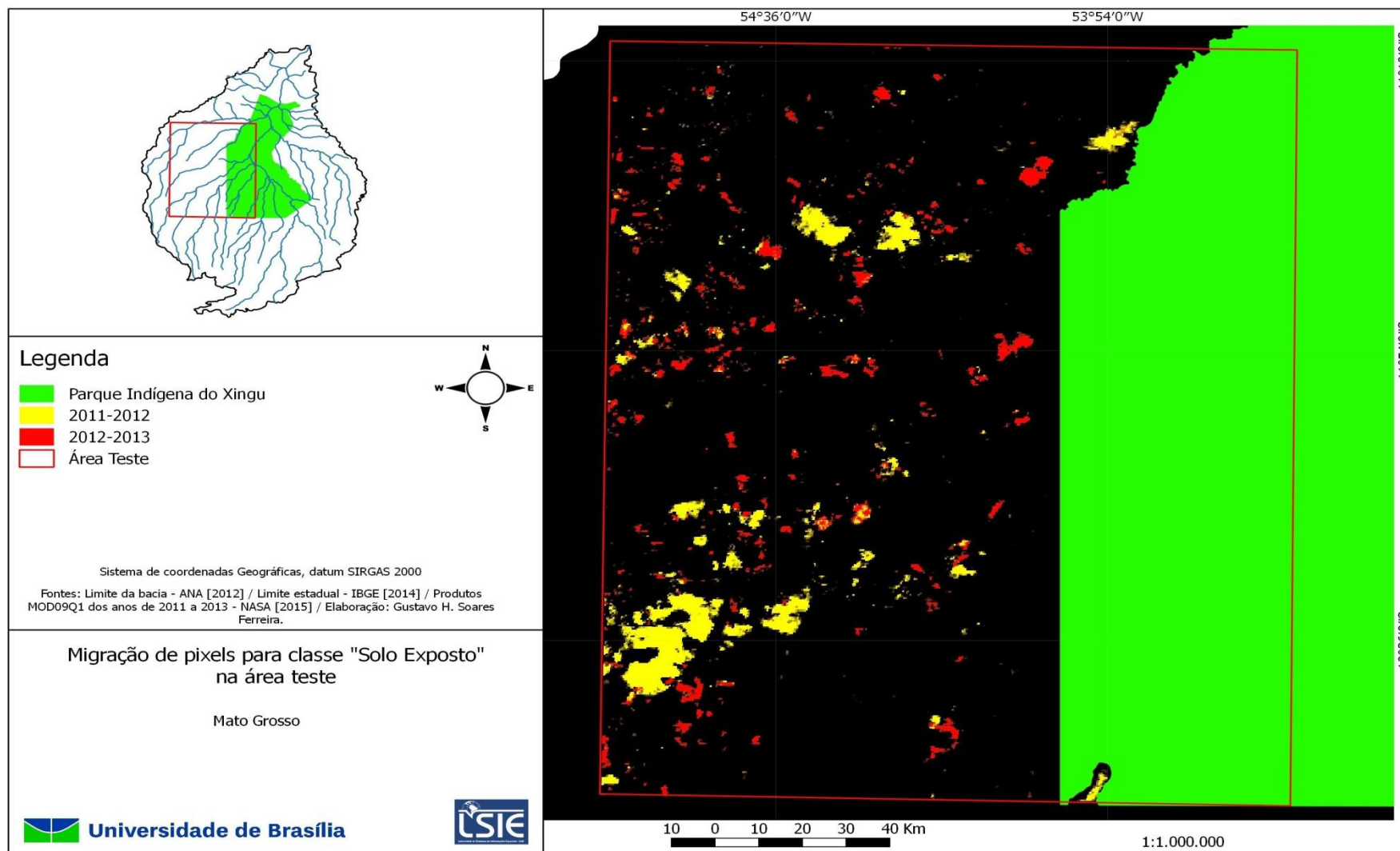


Figura17. Mapa com a distribuição espacial dos pixels que migraram para a classe solo exposto.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O tratamento de ruído obteve um bom resultado para toda a área da bacia. A filtragem por mediana, presente no programa Abílio, obteve uma ótima suavização da curva temporal, sendo uma ferramenta adequada para os dados multitemporais.

Os resultados da classificação demonstraram certa limitação de acurácia. Por ser uma metodologia nova é esperada a necessidade de aperfeiçoamentos. Uma importante fonte de erro é proveniente das variações das curvas temporais em relação a uma mesma classe mapeada. Áreas de culturas podem apresentar variações devido ao tipo e ciclo de plantio ou variações climáticas durante um mesmo período em diferentes porções da área de estudo. Além disso, os ambientes de várzea apresentam variações resultantes da distribuição espacial da precipitação e das características ambientais que geram curvas temporais diferentes. Algumas alternativas podem ser propostas para serem realizados em trabalhos futuros.

Uma primeira abordagem para solucionar este problema seria a adoção de maior número de classes e a realização de uma análise da variabilidade presente em cada amostra. Eventualmente, uma mesma classe deve adotar múltiplas amostras em vez de uma única para descrevê-la, de forma garantir a classificação de variações temporais de um mesmo alvo. Esta nova abordagem de coleta de dados de referência pode trazer uma melhora na classificação. Alternativamente, poder-se-ia adotar outros classificadores baseados em redes neurais ou orientados a objeto. Contudo, o caminho está correto, as funções de detecção de mudança funcionaram corretamente e mostraram um bom desempenho para os estudos em dinâmica espacial.

O cenário apontado neste trabalho nada mais é do que um recorte que pode ser extrapolado para boa parte do Brasil, principalmente na região Centro-Oeste, onde a necessidade de se manter o desenvolvimento econômico faz com que a situação de preservação seja posta em segundo plano, o que gera uma visível expansão dos limites territoriais das atividades agropecuárias. Existem grandes desafios que devem ser transpassados para que haja atividade econômica e preservação ambiental efetiva, e a gestão eficiente do território é o primeiro deles.

O incremento das tecnologias, em especial das geotecnologias, se tornam primordiais para uma efetiva ação governamental na solução deste tipo de problema territorial, as análises espaciais e temporais podem apontar as áreas que necessitam de uma maior ação ou fiscalização. Este trabalho evidencia o sensoriamento remoto no auxílio das análises

geográficas. No que diz respeito à metodologia utilizada, deve-se ressaltar a necessidade de trabalhos futuros que possam refinar e aperfeiçoar o método, a fim de se elevar a acurácia.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABUTAKKA, A. **A formação e ocupação do território mato-grossense**. MT em números. SEPLAN, Mato Grosso, 2010. Disponível em: <seplan.mt.gov.br>. Acesso em: 12. Mar.2015.

ANDERSON, L.O.; LATORE, M.L.; SHIMAKUBURO, Y.E.; ARAI, E.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. **Sensor MODIS: uma abordagem geral**. Technical Report. INPE-10131-RPQ/752. São José dos Campos, 2003.

ANTUNES, A.F & LINGNAU, C. **Uso de índices de acurácia para avaliação de mapas temáticos obtidos por meio de classificação digital**. Anais GIS Brasil, Curitiba. 1997.

BAHIA, R. B. C.; MARTINS NETO, M. A.; BARBOSA, M. S. C.; PEDREIRA, A. J. **Revisão estratigráfica da bacia dos Parecis – Amazônia**. Revista Brasileira de Geociências, vol.36, no.4, 2006. Disponível em: <http://www.revistageociencias.com.br/>. Acesso em: 03.Jun.2014.

BAHIA, R. B. C.; MARTINS NETO, M. A.; BARBOSA, M. S. C.; PEDREIRA, A. J. **Análise da evolução tectonossedimentar da Bacia dos Parecis através de métodos potenciais**. Revista Brasileira de Geociências, vol.37, no.4, 2007. Disponível em: <http://www.revistageociencias.com.br/>. Acesso em: 03.Jun.2014.

BARKER, J.L., HARDEN, M.K., ANUTA, E. A., SMID, J. E., HOUGHT, D. **MODIS Spectral Sensivity Study: Requirements and Characterization**. October, 84p. 1992.

CÂMARA, G.; DAVIS.C.; MONTEIRO, A.M.; D'ALGE, J.C.**Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos, INPE, 2001 (on-line, 2a. edição, revista e ampliada). Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/>>. Acesso em: 20.Jul.2014.

CÂMARA, G.;PEDROSA, M.B. Capítulo 6: Modelagem dinâmica e geoprocessamento. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.V.M.**Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília, EMBRAPA, 2004.

CARVALHO JÚNIOR O. A; CARVALHO APF, MENESES PR & GUIMARÃES RF. **Classificação e eliminação dos ruídos em imagens hiperespectrais pela análise sequencial da transformação por fração de ruído mínima**. Revista Brasileira de Geofísica, vol. 20, n. 1, p. 31–41, 2002.

CARVALHO JÚNIOR, O. A.; CARVALHO, A. P. F.; GUIMARÃES, R. F.; SILVA, C. R.; GOMES, R. A. T.; SILVA, N. C. **An algorithm for seasonal classification and change detection using post-classification method from MODIS time series imagery**. *Remote*

*Sens.*2015. (Sujeito a submissão).

CARVALHO JUNIOR, O. A.; SILVA, N.C.; CARVALHO, A.P.F.; COUTO JUNIOR, A.F.; SILVA, C.R.; SHIMABUKURO, Y.E.; GUIMARÃES, R.F.; GOMES, R.A.T. **Combining noise-adjusted principal component transform and median filter techniques for denoising modis temporal signatures.** Revista Brasileira de Geofísica, vol. 30, n. 2, p. 147-157, 2012.

CARVALHO JÚNIOR, O. A.; COUTO JÚNIOR, A. F.; SILVA, N. C.; MARTINS, E. S.; CARVALHO, A. P. F.; GOMES, R. A. T. **Avaliação dos Classificadores Espectrais de Mínima Distância Euclidiana e Spectral Correlation Mapper em Séries Temporais NDVI-MODIS no Campo de Instrução Militar de Formosa (GO).** Revista Brasileira de Cartografia. Nº 61(04). p. 399-412. 2009.

CARVALHO JÚNIOR, O. A.; SAMPAIO, C. S.; SILVA, N. C.; COUTO JÚNIOR, A. F.; GOMES, R. A. T.; CARVALHO, A. P. F.; SHIMABUKURO, Y. E. **Classificação de Padrões de Savana Usando Assinaturas Temporais NDVI do Sensor MODIS no Parque Nacional Chapada dos Veadeiros.** Revista Brasileira de Geofísica. Vol. 26 (4). p. 505-517, 2008. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/>>. Acesso em: 05.Jun.2014

COHEN, J. A. **Coefficient of Agreement for Nominal Scales.** Educational and Measurement. Vol XX, No 1, p. 37- 46, 1960

COUTINHO, M.G.N. 2008. Capítulo 2. Geologia do Cráton Amazônico, p. 15–32 In: COUTINHO M.G.N (Ed.). **Província Mineral do Tapajós: geologia, metalogenia e mapa preliminar para ouro em SIG.** CPRM, Rio de Janeiro, 2008. 421p.

COUTO JÚNIOR, A. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; MARTINS, E. S. **Séries temporais MODIS aplicadas em sucessão de culturas de soja (Glycine Max (L.) Merrill) e milho (Zeamays L.) em sistema de plantio direto.** Revista Brasileira de Cartografia. Nº 64(3). p.405-418, 2012. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/>>. Acesso em: 05.Jun.2014.

Dados relativos a produção de soja no estado do Mato Grosso entre os anos de 2010 e 2011. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br>>. Acesso em: 13.Jul.2014.

ELETROBRÁS. **Estudo de impacto ambiental da Usina Hidrelétrica de Belo Monte: Análise Integrada.** Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Vol.09, p.265, 2009.

GREEN A.A.; BERMAN M; SWITZER P.; CRAIG M.D. **A transformation for ordering multispectral data in terms of images quality with implications for noise removal.** *IEEE TransactionsonGeoscienceand Remote Sensing*, 26(1): 65–74. 1988.

GOMES, P. C. C. Parte I: Conceitos. O território: sobre espaço e poder, autonomia e desenvolvimento. p.77-116. In:CASTRO, I. E.; GOMES, P. C. C.; CORRÊA, R.L.**Geografia: Conceitos e Temas**. 15º ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.

ISA. Instituto Socioambiental. **Almanaque Socioambiental Parque Indígena do Xingu 50 anos**. São Paulo, p.312, 2011. Disponível em: <<http://www.socioambiental.org/>>. Acesso em: 15.Jul.2014.

ISA-ICV. **Fique por dentro: a Bacia do Rio Xingu em Mato Grosso**. Série Cartô Brasil Socioambiental, volume 2. São Paulo, 2010.Disponível em: <<http://www.socioambiental.org/>>. Acesso em: 15.Jul.2014.

INPE. **Monitoramento da cobertura florestal da Amazônia por satélites: Sistemas PRODES, DETER, DEGRAD e QUEIMADAS 2007- 2008**. São José dos Campos: INPE; 2009.

IVANAUSKAS, N. M.; MONTEIRO, R.; RODRIGUES, R. R. **Classificação fitogeográfica das florestas do Alto Rio Xingu**. *Acta Amazônica*, vol.38, no.3.Manaus, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/>>. Acessoem: 16.Ago.2014.

JUSTICE, C O.; VERMOTE, E., TOWNSHEND, J. R. G.; DEFRIES, R.;ROY, P. D; HALL, D.K, SALOMONSON, V.; PRIVETTE, J.L.; RIGGS, G.; STRAHLER, A.; LUCHT, W.; MYNENI, R. B; KNYAZIKHIN, Y.; RUNNING, S. W.; NEMANI, R. R.; WAN, Z.; HUETE, A. R.; LEEUWEN, W. V.; WOLFE, R. E.; GIGLIO, L.; MULLER, J. P; LEWIS, P.; BARNESLEY, M. **The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research.** *IEEE TransactionsonGeoscienceand Remote Sensing*, 36(4):1228-1247. 1998.

KIRCHHEIM, R. E.**Prognósticos de uso e proteção de água subterrânea considerando cenários sócio-econômicos: uma ferramenta para a gestão dos recursos hídricos do Estado do Mato Grosso, Brasil**. Congresso mundial da água, 14, 25-29, Porto de Galinhas, PE.Anais. WWC, set. 2011. Disponível em: < <http://www.cprm.gov.br/>>. Acesso em: 05.Ago.2014.

LANDIS, J.R.; KOCH, G.G.**The measurement of observer agreement for categorical data.***Biometrics*, 33(1):159-174, 1977.

LATORRE, M. L.; ANDERSON, L.O.; SHIMABUKURO, Y.O.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. **Sensor MODIS: características gerais e aplicações**. Espaço & Geografia, v.6, Nº1, 2003. Movimento Xingu vivo para sempre. Disponível em: <<http://www.xinguvivo.org.br>>. Acesso em: 13.Jul.2013.

LUNETTA, R.S.; KNIGHT, J.F.; EDIRIWICKREMA, J.; LYON, J.G.; WORTHY, L.D. **Land-cover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data**. *Remote Sens. Environ.* 105, 2, 142-154.2006.

LONGLEY, P. A; GOODCHILD, M.F; MAGUIRE D.J; RHIND D.W. **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica**. 3. Ed. Porto Alegre, Bookman, 540p. 2013.

MATO GROSSO. Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral. **Zoneamento Sócio Econômico Ecológico do Estado do Mato Grosso**. Cuiabá, 2001. Disponível em: <www.seplan.mt.gov.br>. Acesso em: 19.Dez.2011.

MARQUES FILHO, O; VIEIRA NETO, H. **Processamento Digital de Imagens**. Rio de Janeiro: Brasport, ISBN 8574520098. 1999.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T.; SANTA ROSA, A. N.; SANO, E. E.; SOUZA, E. B.; BAPTISTA, G. M. M.; BRITES, R. S.; **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília, 268p. 2011.

MONTGOMERY, G.; SCHUCH, C. **Gis Data Conversion Handbook**. Fort Collins: Gis Word Books. 1993. Disponível em: <<https://books.google.com/>>. Acesso em: 03.Abr.2015

MORAES NOVO, E. M. L. de. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 4ª Edição-São Paulo, Blucher, 363p. 2010.

NASA. **MODIS brochure**. 2003. Disponível em: <<http://modis.gsfc.nasa.gov/about/media.php>>. Acesso em: 02.Mar.2014.

RAPPPY-DANIEL, L. Capítulo 3. Caracterização da área amostrada. p.35-42. In: RappPy-Daniel, L.; Deus, C.P.; Henriques, A.L.; Pimpão, D.M.; Ribeiro, O.M. (orgs.). **Biodiversidade do Médio Madeira: Bases científicas para propostas de conservação**. INPA: Manaus, 244p.2007.

SILVA, N. A. U. S.; ALVES, M. D.; SANCHES, L.; SALAS. J. A. P. **Monitoramento do Parque Indígena do Xingu em Mato Grosso por meio do sensor Awifs do satélite Irs-P6**. In: 15º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2011, Paraná. Anais. Curitiba: INPE, p.1965, 2011. Disponível em: <www.dsr.inpe.br/sbsr2011>. Acesso em: 10.Out.2014.

SOARES, P. L. B.;SILVA, J. P. **Redes neurais aplicadas na redução de ruído impulsivo de imagens digitais.** Revista Brasileira de Computação Aplicada (ISSN 2176-6649), Passo Fundo, v. 5, n. 1, p. 2-13, abr. 2013. Disponível em: <<http://www.upf.br>>. Acesso em: 15.Abr.2015.

SINGH, A. **Digital change detection techniques using remotely-sensed data.**Int. J.RemoteSensing, 10(6), 989-1003. 1989.